УДК 661.314 DOI: 10.18664/ikszt.v0i1.51642

ЩЕРБАК Я.В., д.т.н., професор,
СЕМЕНЕНКО Ю.О., аспірант (Українська державна академія залізничного транспорту)

Аналіз роботи пасивних фільтрів на виході тягової підстанції постійного струму

Проведено аналіз роботи пасивних фільтрів, які використовуються на тягових підстанціях для придушення змінної складової вихідної напруги. При несиметрії вхідної напруги випрямлячем в мережу генеруються субгармоніки, для компенсації яких необхідно занадто громіздкі пасивні фільтри. Альтернативним рішенням є активні методи фільтрації субгармонік випрямленої напруги.
Ключові слова: *тягова підстанція, пасивний фільтр, гармонійні складові, еквівалентна заважаюча напруга, коефіцієнт згладжування.*

Постановка проблеми

Напруга на виході випрямляча тягової підстанції містить крім постійної змінну складову, яка має широкий спектр гармонік. Ці гармонійні складові призводять до виникнення шкідливого електромагнітного випромінювання і додаткових втрат електричної енергії в тяговій мережі. Заважаючий вплив змінної складової випрямленої напруги та струму суттєво порушує нормальну роботу залізничної автоматики, засобів СЦБ та ліній зв'язку, що може призвести до негативних наслідків. Дана проблема суттєво ускладнюється впровадженням електричного рухомого складу з імпульсними перетворювачами.

Мета роботи

Традиційними засобами компенсації гармонійних складових випрямленої напруги на тягових підстанціях постійного струму є пасивні фільтри. Метою даної роботи є дослідження ефективності роботи існуючих схем пасивних фільтрів на виході тягової підстанції постійного струму та можливість покращення показників їх роботи.

Основна частина

Одним із показників якості електричної енергії тягової підстанції постійного струму є ступінь заважаючого впливу тягової мережі на суміжні електроустановки. Заважаючим впливом називається такий вплив, при якому в пристроях зв'язку, сигналізації, централізації і блокування, залізничної автоматики і телемеханіки з'являються перешкоди, що порушують нормальну роботу цих пристроїв. Оцінюється такий вплив величиною еквівалентної заважаючої напруги $U_{ез}$, під якою розуміють напругу з частотою 800 Гц, що діє в контактній мережі та створює в сусідній лінії такі ж перешкоди, як і дійсна напруга з усіма її гармоніками

$$U_{ез} = \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} \left(U_k \cdot p_k\right)^2}\,, \qquad (1)$$

де U_k – діюче значення напруги k-тої гармонійної складової;

p_k – коефіцієнт акустичного впливу k-тої гармоніки, який враховує неоднакову ступінь впливу гармонік на суміжні лінії зв'язку.

Фільтрокомпенсуючими пристроями на діючих тягових підстанціях постійного струму, що знижають рівень еквівалентної заважаючої напруги, є пасивні фільтри. До їх складу входять Г-подібний *LC*-фільтр та ряд режекторних ланок, що налаштовані на частоти гармонійних складових випрямленої напруги. З урахуванням зростаючих вимог до якості електричної енергії згідно з ЦЕ-0024 «Інструкція з технічного обслуговування та ремонту обладнання тягових підстанцій, пунктів живлення та секціонування електрифікованих залізниць» [1] повинні застосовуватись дволанкові фільтри, схеми найбільш розповсюджених представлені на рис. 1 та рис. 2. Роботі пасивних фільтрів присвячена наступні наукові роботи [2, 3], в яких викладений матеріал щодо ефективності та доцільності використання даних фільтрокомпенсуючих пристроїв на тягових підстанціях постійного струму.

© Я.В. Щербак, Ю.О. Семененко, 2015

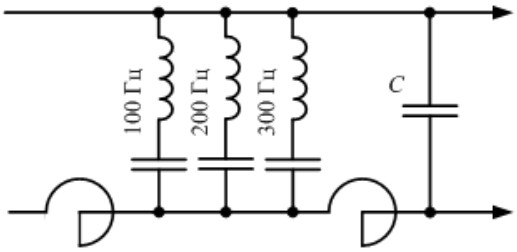

Рис. 1. Пасивний фільтр Західносибірської залізниці

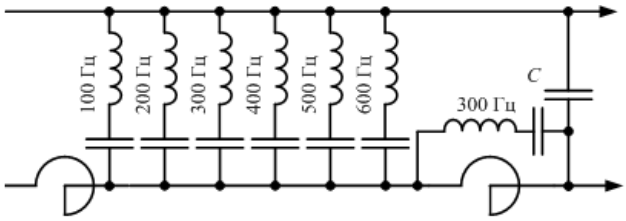

Рис.2. Дволанковий пасивний фільтр ЦНДІ МШС

При розгляді та якісній оцінці фільтруючих пристроїв тягових підстанцій у відповідності до ЦЕ-0024 [1] ключовим критерієм, який визначає якість роботи пасивного фільтру є коефіцієнт згладжування всього фільтра. Він визначається зі співвідношення еквівалентної заважаючої напруги на вході фільтра до її величини на виході пасивного фільтра. За цією ж інструкцією величина коефіцієнта згладжування повинна знаходитися в межах

$$25 \le k_{\text{згл}} \le 50. \qquad (2)$$

Слід зауважити, що в даному випадку не вказується, для яких саме величин тягового струму проводилися вимірювання еквівалентної заважаючої напруги.

Для аналізу ефективності роботи пасивних дволанкових фільтрів розглянемо комп'ютерну модель пасивного дволанкового фільтра Західносибірської залізниці (рис. 3) розроблену в середовищі MATLAB. Параметри фільтра вибрані згідно [2], де активними опорами відображаються втрати в реактивних елементах схеми.

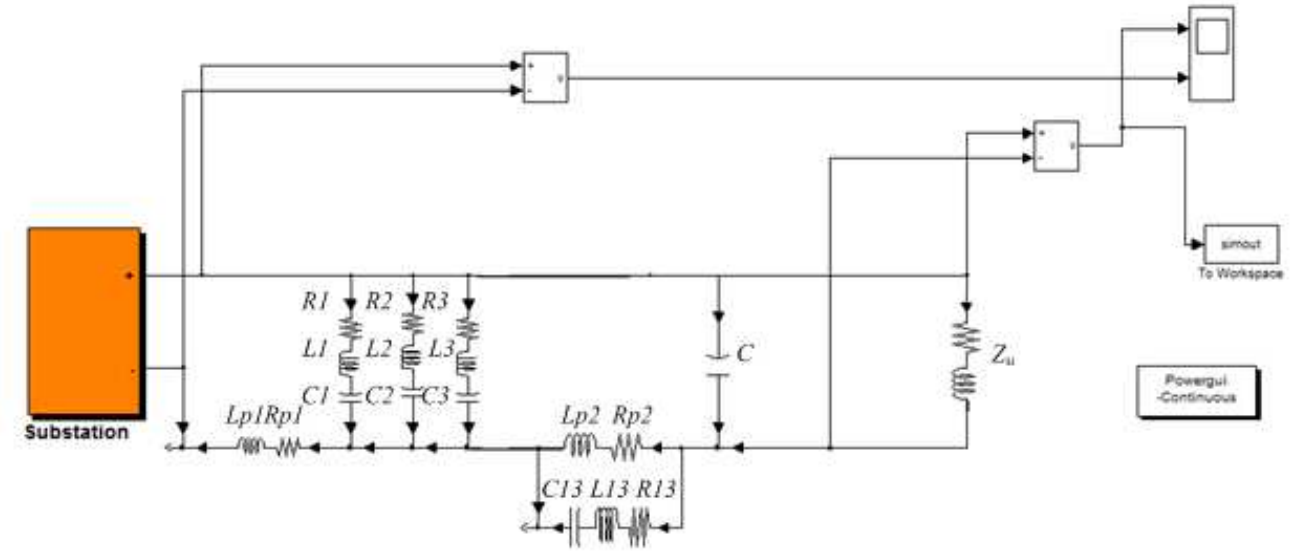

Рис. 3. Комп'ютерна модель пасивного фільтра Західносибірської залізниці

Досліджуємо схему при симетричній трифазній вхідній напрузі та активно-індуктивному навантаженні.

Постійну складову струму навантаження позначаємо $I_{н0}$. Проаналізувавши отримані діаграми спектрального складу можна зробити висновок про наявність найбільш суттєвої основної гармоніки (300 Гц) випрямленої напруги та зростання коефіцієнта пульсацій вихідної напруги при збільшенні струму навантаження. Наступним кроком проводимо дослідження схеми пасивного фільтра при несиметричній трифазній напрузі, яка згідно [4] не повинна перевищувати гранично допустиме значення 4%, та активно-індуктивному навантаженні. Вводимо несиметрію шляхом зменшення на 4% напруги фази С відносно напруг інших двох фаз.

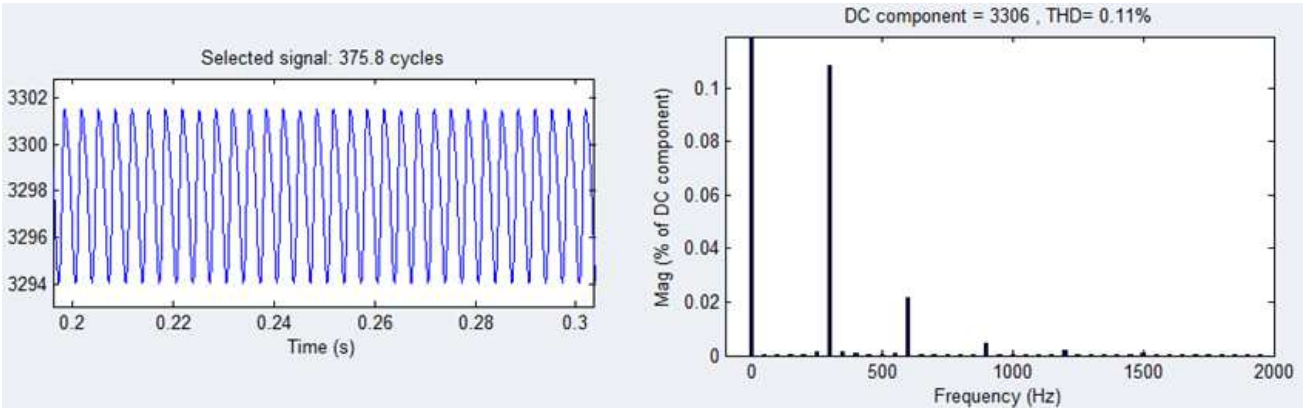

Рис. 4. Пульсації вихідної напруги тягової підстанції з пасивним фільтром Західносибірської залізниці та діаграма спектрального складу при $I_{н0}$ = 330 А

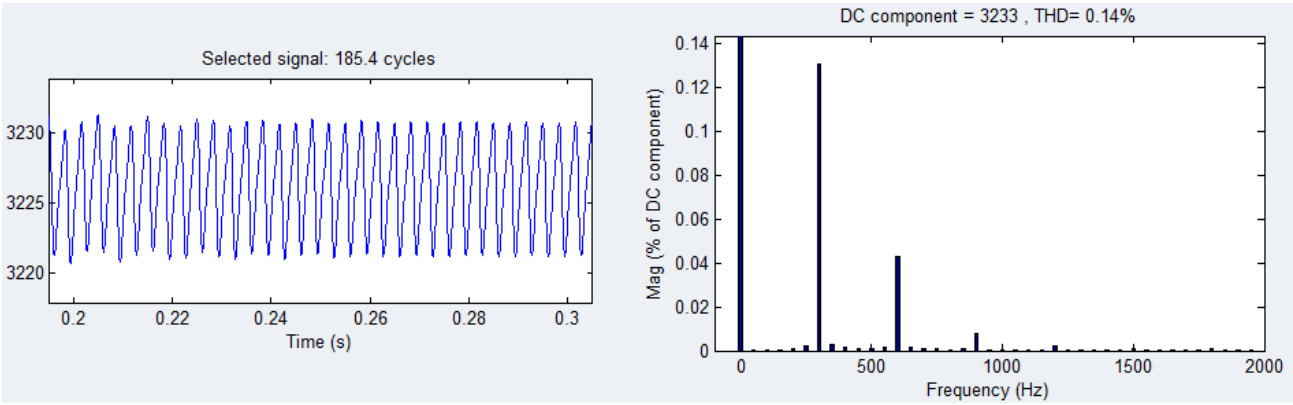

Рис. 5. Пульсації вихідної напруги тягової підстанції з пасивним фільтром Західносибірської залізниці та діаграма спектрального складу при $I_{н0}$ = 3226 А

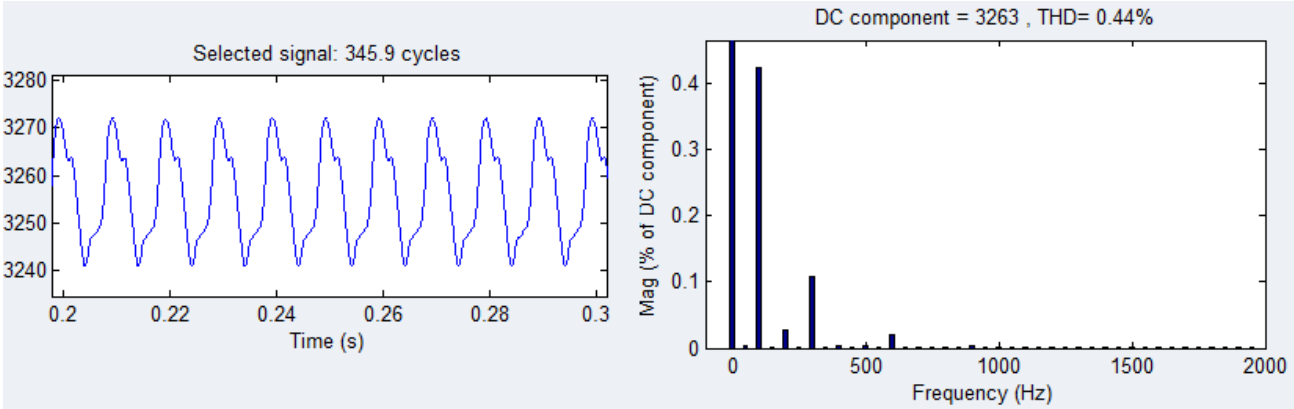

Рис. 6. Пульсації вихідної напруги тягової підстанції з пасивним фільтром Західносибірської залізниці та діаграма спектрального складу при несиметрії вхідної напруги 4% по одній із фаз при $I_{н0}$ = 326 А

Як видно з рис. 6, наявність несиметрії вхідної напруги випрямляча призводить до появи субгармонік. Відносна амплітуда субгармоніки частотою 100 Гц дорівнює 0,42 %, а коефіцієнт пульсацій – 0,44%.

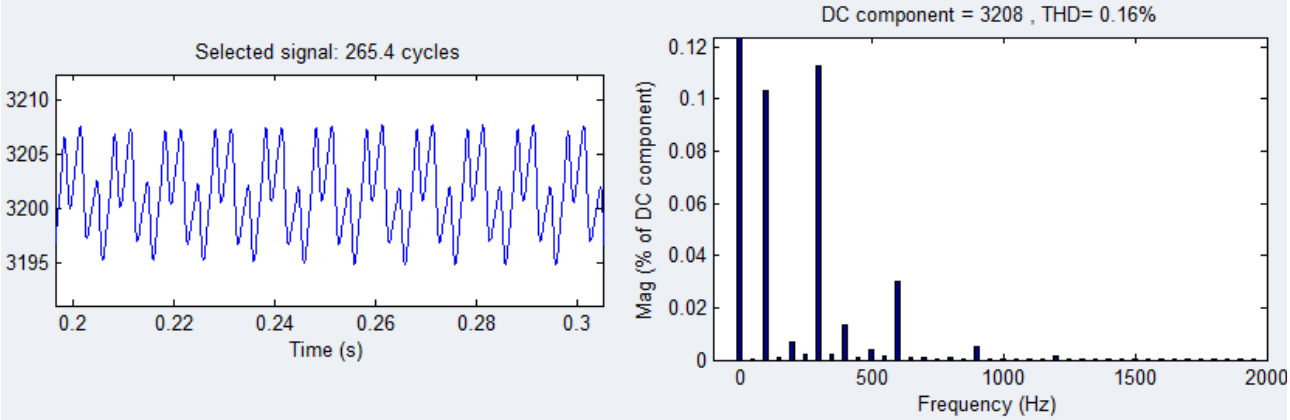

Рис. 7. Пульсації вихідної напруги тягової підстанції з пасивним фільтром Західносибірської залізниці та діаграма спектрального складу при несиметрії вхідної напруги 4% по одній із фаз при $I_{н0}$ = 3201 А

Як видно з діаграми спектрального складу (рис. 7), зростання струму навантаження при наявності такої ж несиметрії вхідної напруги знижує субгармоніки вихідної напруги. Відносна амплітуда субгармоніки частотою 100 Гц дорівнює 0,1 %, а коефіцієнт пульсацій – 0,16%.

Як підтверджують результати дослідження, випрямною установкою на тяговій підстанції можуть генеруватися у вихідну напругу гармоніки частотою нижче основної, кратні частоті живильної мережі (100, 200 Гц), які прийнято називати субгармоніками. Вони не придушуються пасивним фільтром, збільшують коефіцієнт пульсацій напруги і створюють значний заважаючий вплив на пристрої системи автоблокування.

Наявність таких гармонік у вихідній напрузі випрямляча помітно погіршує якість електричної енергії на виході підстанції. Дана проблема ускладнюється при збігу або близькому розташуванні власної частоти пасивного Г-подібного фільтра і зазначених гармонійних складових, які в такому випадку передаються на вихід підстанції зі значним підсиленням. Щоб таких проблем не виникало, необхідно знижувати резонансну частоту *LC*-фільтра до необхідної величини, що виключає підсилюючі властивості згладжуючого пристрою на частотах гармонійних складових у діапазоні субгармонік. Як показано в роботі [5], економічно недоцільно застосовувати пасивні фільтри для компенсації гармонік з частотами нижче основної частоти випрямляча, бо це призводить до значного зростання їх маси та габаритних показників. Альтернативним рішенням є активні методи фільтрації субгармонік випрямленої напруги [2, 3, 6].

Висновки

Проведений аналіз доцільності використання пасивних фільтрів в якості фільтрокомпенсуючих пристроїв на тягових підстанціях постійного струму показав, що при гранично допустимих значеннях несиметрії вхідної трифазної напруги виникають субгармоніки із амплітудою до десятків вольт. Вони не придушуються пасивними фільтрами, збільшують коефіцієнт пульсацій напруги, що призводить до порушення чинних вимог щодо рівня небезпечних і заважаючих впливів тягової мережі на суміжні електроустановки. Тому для усунення вище перерахованих недоліків пасивних фільтрів і підвищення якості електричної енергії в контактній мережі постійного струму доцільним є застосування активних методів фільтрації.

Література

1. ЦЕ-0024 Інструкція з технічного обслуговування та ремонту обладнання тягових підстанцій, пунктів живлення та секціонування електрифікованих залізниць, затверджена наказом Укрзалізниці [Текст] від 21.12.2007 року № 618-Ц.
2. Слободчиков И.В. Повышения качества электрической энергии тяговой подстанции постоянного тока методами активной фильтрации [Текст]: дис. канд. техн. наук: 05.22.09 / И.В. Слободчиков. – Харьков, 2012. – 207 с.
3. Щербак Я.В., Слободчиков И.В. Анализ электромагнитных процессов в фильтрующей установке тяговой подстанции постоянного тока [Текст] // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2007. – №4 – С.48–52.
4. ГОСТ 13109-97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего

назначения [Текст]. – Введ. в Украине 01.01.2000. – М.: Изд-во стандартов, 1997. – 42 с.
5. Замкнутые системы преобразования электрической энергии [Текст] / В.Я. Жуйков, И.Е. Коротеев, В.М.Рябенький и др.; под ред. В.Я. Жуйкова. Техника; Братислава: Альфа, 1989. - 320с.
6. Активна фільтрація вихідної напруги тягової підстанції постійного струму [Текст] / Я.В. Щербак., Ю.О. Семененко // Збірник наукових праць УкрДАЗТ, №127 2011 р.

Щербак Я.В., Семененко Ю.А. Анализ работы пассивных фильтров на выходе тяговой подстанции постоянного тока. Проведен анализ работы пассивных фильтров, которые используются на тяговых подстанциях для подавления переменной составляющей выходного напряжения. При несимметрии входного напряжения выпрямителем в сеть генерируются субгармоники, для компенсации которых необходимо слишком громоздкие пассивные фильтры. Альтернативным решением являются активные методы фильтрации субгармоник выпрямленного напряжения.
Ключевые слова: тяговая подстанция, пассивный фильтр, гармонические составляющие, эквивалентное мешающее напряжение, коэффициент сглаживания.

Shcherbak J.V., Semenenko J.A. The analysis of output passive filter performance of a DC traction substation. The analysis of passive filters used for traction substations to suppress variable component of output voltage has been conducted. When the input voltage is asymmetric, a rectifier generates subharmonics into the network. As a result too bulky passive filters are needed to compensate such subharmonics. An alternative solution is active filtering of rectified voltage subharmonics.
Key words: traction substation, passive filter, harmonic components, equivalent counter voltage, smoothing factor.

Рецензент д.т.н., професор Фалендиш А.П. (УкрДАЗТ)

Поступила 15.12.2014г.